



# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

## PCT

REC'D 25 APR 2006

### INTERNATIONALER VORLÄUFIGER BERICHT ÜBER DIE PATENTIERBARKEIT

(Kapitel II des Vertrags über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts 56205 Mü/pn	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Formblatt PCT/IPEA/416	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP2004/013447	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 26.11.2004	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 23.12.2003
Internationale Patentklassifikation (IPC) oder nationale Klassifikation und IPC INV. G01C19/56		
Anmelder LITEF GMBH et al.		
<p>1. Bei diesem Bericht handelt es sich um den internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, der von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde nach Artikel 35 erstellt wurde und dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt wird.</p> <p>2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 6 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.</p> <p>3. Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; diese umfassen</p> <p>a. <input checked="" type="checkbox"/> (an den Anmelder und das Internationale Büro gesandt) insgesamt 8 Blätter; dabei handelt es sich um</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Blätter mit der Beschreibung, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit Berichtigungen, denen die Behörde zugestimmt hat (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsvorschriften).</p> <p><input type="checkbox"/> Blätter, die frühere Blätter ersetzen, die aber aus den in Feld Nr. 1, Punkt 4 und im Zusatzfeld angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde eine Änderung enthalten, die über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgeht.</p> <p>b. <input type="checkbox"/> (nur an das Internationale Büro gesandt) insgesamt (bitte Art und Anzahl der/des elektronischen Datenträger(s) angeben), der/die ein Sequenzprotokoll und/oder die dazugehörigen Tabellen enthält/enhalten, nur in elektronischer Form, wie im Zusatzfeld betreffend das Sequenzprotokoll angegeben (siehe Abschnitt 802 der Verwaltungsvorschriften).</p>		
<p>4. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Feld Nr. I Grundlage des Berichts</p> <p><input type="checkbox"/> Feld Nr. II Priorität</p> <p><input type="checkbox"/> Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit</p> <p><input type="checkbox"/> Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung</p> <p><input type="checkbox"/> Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung</p> <p><input type="checkbox"/> Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung</p>		
Datum der Einreichung des Antrags  03.06.2005	Datum der Fertigstellung dieses Berichts  24.04.2006	
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde   Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter  Springer, O  Tel. +49 89 2399-2619 	

---

**Feld Nr. I Grundlage des Berichts**

---

1. Hinsichtlich der **Sprache** beruht der Bescheid auf

- ☒ der internationalen Anmeldung in der Sprache, in der sie eingereicht wurde.
- ☐ einer Übersetzung der internationalen Anmeldung in die folgende Sprache, bei der es sich um die Sprache der Übersetzung handelt, die für folgenden Zweck eingereicht worden ist:
- ☐ internationale Recherche (nach Regeln 12.3 a) und 23.1 b))
  - ☐ Veröffentlichung der internationalen Anmeldung (nach Regel 12.4 a))
  - ☐ internationale vorläufige Prüfung (nach Regeln 55.2 a) und/oder 55.3 a))

2. Hinsichtlich der **Bestandteile\*** der internationalen Anmeldung beruht der Bericht auf (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt*):

**Beschreibung, Seiten**

6-15 in der ursprünglich eingereichten Fassung  
1-5, 5a eingegangen am 24.10.2005 mit Schreiben vom 24.10.2005

**Ansprüche, Nr.**

1-8 eingegangen am 24.10.2005 mit Schreiben vom 24.10.2005

**Zeichnungen, Blätter**

1/4-4/4 in der ursprünglich eingereichten Fassung

☐ einem Sequenzprotokoll und/oder etwaigen dazugehörigen Tabellen - siehe Zusatzfeld betreffend das Sequenzprotokoll

3. ☐ Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung: Seite
- ☐ Ansprüche: Nr.
- ☐ Zeichnungen: Blatt/Abb.
- ☐ Sequenzprotokoll (*genaue Angaben*):
- ☐ etwaige zum Sequenzprotokoll gehörende Tabellen (*genaue Angaben*):

4. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der diesem Bericht beigelegten und nachstehend aufgelisteten Änderungen erstellt worden, da diese aus den im Zusatzfeld angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2 c)).

- ☐ Beschreibung: Seite
- ☐ Ansprüche: Nr.
- ☐ Zeichnungen: Blatt/Abb.
- ☐ Sequenzprotokoll (*genaue Angaben*):
- ☐ etwaige zum Sequenzprotokoll gehörende Tabellen (*genaue Angaben*):

\* Wenn Punkt 4 zutrifft, können einige oder alle dieser Blätter mit der Bemerkung "ersetzt" versehen werden.

---

**Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Artikel 35 (2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

---

1. Feststellung

Neuheit (N) Ja: Ansprüche 1 bis 8

Nein: Ansprüche

Erfinderische Tätigkeit (IS) Ja: Ansprüche 1 bis 8

Nein: Ansprüche

Gewerbliche Anwendbarkeit (IA) Ja: Ansprüche: 1 bis 8

Nein: Ansprüche:

2. Unterlagen und Erklärungen (Regel 70.7):

**siehe Beiblatt**

---

**Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung**

---

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

**siehe Beiblatt**

**Zu Punkt V: Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit,  
der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit;  
Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung:**

**1. Technisches Gebiet:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quadraturbiaskompensation in einem Corioliskreisel und einen solchen Corioliskreisel.

**2. Unabhängige Ansprüche:** Ansprüche 1 (Verfahren) und 4 (Vorrichtung).

**3. Stand der Technik:**

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

D1: US-A-2003/061877; ROBERT E. STEWART ET AL; 3. April 2003 in Verbindung mit US-A-2003/159510; ROBERT E. STEWART ET AL; 28. August 2003

D2: WO-A-03/058167; ROBERT BOSCH GMBH; 17. Juli 2003

D3: US-A-6 067 858; CLARK ET AL; 30. Mai 2000

**Dokument D1**, welches als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird, offenbart (die Verweise in Klammern beziehen sich auf die jeweiligen Dokumente) einen Corioliskreisel mit und ein Verfahren zur Quadraturbiaskompensation in einem Corioliskreisel (siehe den Titel), Der Corioliskreisel besitzt einen Resonator als gekoppeltes System aus einem ersten (first dither mass 87) und einem zweiten linearen Schwinger (first proof mass 89), sowie einer Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Feldes (quadrature null regions 93, 105 und quadrature forcer electrodes 121, 127) (siehe z.B. S. 1, Absätze 14 bis 17; S. 2, Absatz 21 und Abb. 1, 2). Eine Einrichtung zur Ermittlung des Quadraturbias des Kreisels und einen Regelkreis zur Regelung des elektrostatischen Feldes, um den Quadraturbias möglichst zu verringern, ist in Dokument D1 impliziert, da das Dokument D1 für die genauere Beschreibung der Funktionsweise der Quadraturkompensation auf das Dokument US-A-2003/159510 vom gleichen Anmelder verweist. Darin (siehe z.B. S. 2, Absatz 26 bis S. 3, Absatz 30 und Abb. 2, 3) wird der Einsatz eines Regelkreises zur Regelung des elektrostatischen Feldes beschrieben. Zur Quadratur-Kompensation werden über die Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Feldes Wechselkräfte erzeugt, die auf den Resonator wirken.

Die **Dokumente D2 und D3** beschreiben ähnliche Verfahren und Corioliskreisel, bei denen ebenfalls Wechselkräfte zur Quadratur-Kompensation zum Einsatz kommen

(D2: siehe z.B. S. 8, letzter Absatz bis S. 16, erster Absatz und Abb. 1 bis 3 und D3: siehe z.B. Sp. 4, Z. 14 bis Sp. 8, Z. 32; Sp. 13, Z. 60 bis Sp. 15, Z. 12 und Abb. 1, 2, 7a, 7b, 7c und 14). Der Drehratensensor aus Dokument D2 besteht aus einem ersten (Anregungs-)schwinger, einem zweiten (Coriolis-) schwinger und einem dritten (Detektions-)schwinger. Die elektrostatischen Kräfte werden dabei auf den zweiten Schwinger ausgeübt, wobei die dynamischen Kräfte ggf. durch statische Kräfte überlagert werden können. Einen Rahmen besitzt dieser Sensor nicht.

#### **4. Neuheit - Artikel 33(2) PCT**

##### **4.1 Unabhängige Ansprüche 1 und 4:**

Der Gegenstand der unabhängigen Ansprüche 1 und 4 unterscheidet sich vom nächstliegenden Stand der Technik nach Dokument D1 dadurch, dass das elektrostatische Feld eine Gleichkraft (d.h. statische Kraft) erzeugt, die eine Änderung der Ausrichtung erster Federelemente, die den ersten Schwinger am Rahmen befestigen, bewirkt und/oder eine Änderung der Ausrichtung zweiter Federelemente, die den ersten Schwinger mit dem zweiten Schwinger verbinden, bewirkt. Somit ist der Gegenstand der Ansprüche 1 und 4 neu gegenüber Dokument D1. Alle anderen Dokumente sind weniger relevant.

#### **5. Erfinderische Tätigkeit - Artikel 33(3) PCT**

##### **5.1 Unabhängiger Anspruch 1:**

Durch die spezielle Anordnung und Regelung der Elektroden zur Erzeugung einer statischen Gleichkraft wird die objektive technische Aufgabe gelöst, eine einfachere und wirkungsvollere Quadraturbiaskompensation zu erreichen. Durch die dadurch bewirkte gegenseitige Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander wird die Ausrichtung der Federelemente, mit denen die Schwinger verbunden sind, geändert, wodurch der Quadraturbias am Entstehungsort wirkungsvoll kompensiert wird. Dazu wird nur eine vereinfachte Elektrodenanordnung benötigt. Solch eine Elektrodenanordnung zur Erzeugung einer Gleichkraft ist aus dem zitierten Stand der Technik weder bekannt noch nahegelegt. Die Anforderungen an Artikel 33(3) PCT sind somit erfüllt.

##### **5.2 Abhängige Ansprüche 2 bis 3 und 5 bis 8:**

Die abhängigen Ansprüche 2 bis 3 und 5 bis 8 betreffen zusätzliche Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1 bzw. 4, auf die sie sich beziehen und werden aus diesem

Grund für neu und erfinderisch angesehen.

**6. Industrielle Anwendbarkeit - Artikel 33(4) PCT**

Die in den Ansprüchen 1 bis 8 beanspruchte Erfindung ist industriell anwendbar auf dem Gebiet der Quadraturbiaskompensation bei Corioliskreiseln.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreiseldahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) befestigt ist, mit den folgenden Schritten:
- Ermitteln des Quadraturbias des Corioliskreisels,
  - Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander, wobei durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) bewirkt, und die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausrichtung der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld geändert wird, und dass die Ausrichtung der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers (4) durch das elektrostatische Feld geändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektrische Feld eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) zueinander bewirkt.
4. Corioliskreisels, mit einem ersten Resonator (1), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreiseldahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) befestigt ist, mit:
- einer Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds (11<sub>1</sub>', (11<sub>2</sub>', 10<sub>1</sub> bis 10<sub>4</sub>), durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander änderbar ist, indem durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die einen Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) bezüglich des Kreiseldahmens (7<sub>3</sub>, 7<sub>4</sub>) und/oder einen Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) bezüglich des ersten Schwingers (3) ändert,
  - einer Einrichtung (45, 47) zur Ermittlung eines Quadraturbias des Corioliskreisels, und

- einem Regelkreis (55, 56, 57), durch den die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

5    5.    Corioliskreisel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche zweiten Federelemente ( $6_1$  bis  $6_2$ ), die den zweiten Schwinger (4) mit dem ersten Schwinger (3) verbinden, so ausgestaltet sind, dass eine Krafteinleitung von dem ersten Schwinger (3) auf den zweiten Schwinger (4) im Wesentlichen von einer Seite des ersten Schwingers (3) aus erfolgt.

10

6.    Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ), die den ersten Schwinger (3) mit dem Kreisrahmen ( $7_3$ ,  $7_4$ ) des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind, wobei die Anfangs- und Endpunkte der  
15 ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen.

7.    Corioliskreisel (1') nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **gekennzeichnet durch** einen zweiten Resonator ( $70_1$ ,  $70_2$ ), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$ ,  $4_2$ ) ausgestaltet ist, wobei der erste Resonator ( $70_1$ ) mit dem zweiten Resonator ( $70_2$ ) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbar sind.

20    8.    Corioliskreisel (1') nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators ( $70_1$ ,  $70_2$ ) identisch sind, wobei die Resonatoren ( $70_1$ ,  $70_2$ ) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetrieachse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse (72) steht.



## Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels sowie dafür geeigneter Corioliskreisels

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels sowie einen dafür geeigneten Corioliskreisels.

Corioliskreisels (auch Vibrationskreisels genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Jedes Massensystem hat in der Regel eine Vielzahl von Schwingungsmoden, die zunächst voneinander unabhängig sind. Zum Betrieb des Corioliskreisels wird ein bestimmter Schwingungsmodus des Massensystems künstlich angeregt, der im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Wenn der Corioliskreisels gedreht wird, treten Corioliskräfte auf, die der Anregungsschwingung des Massensystems Energie entnehmen und damit einen weiteren Schwingungsmodus des Massensystems, der im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet wird, übertragen. Um Drehungen des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisels können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert - vorzugsweise Null - rückgestellt, und die Rückstellkräfte gemessen.

Das Massensystem des Corioliskreisels (das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird) kann hierbei unterschiedlichst ausgestaltet sein. Beispielsweise ist es möglich, ein einstückig ausgebildetes Massensystem zu verwenden. Alternativ ist es möglich, das Massensystem in zwei Schwinger aufzuteilen, die miteinander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen zueinander ausführen können. Beispielsweise ist es bekannt, ein gekoppeltes System aus zwei linearen Schwingern zu verwenden, das auch als lineares Doppelschwingersystem bezeichnet wird. Verwendet man ein derartiges gekoppeltes System, so sind aufgrund von Fertigungstoleranzen Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander unvermeidlich. Die Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander erzeugen einen Nullpunktfehleranteil im gemessenen Drehratensignal, den sogenannten "Quadraturbias" (genauer gesagt: einen Quadraturbias-Anteil).

Zur Kompensation des Quadraturbias kommen Verfahren zum Einsatz, wie sie beispielsweise in den Druckschriften US-A-2003/061877, WO-A-03/058167 sowie US-A-6,067,858 gezeigt sind. In diesem Verfahren werden zur Kompensation des Quadraturbias Wechselkräfte eingesetzt.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe ist es, ein Verfahren und einen Corioliskreisels anzugeben, mit dem ein derartiger Quadraturbiasanteil kompensiert werden kann.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation für einen Resonator mit zwei linearen Schwingern gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Weiterhin stellt die Erfindung eine dafür geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels gemäß Patentanspruch 4 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in  
10 jeweiligen Unteransprüchen.

Um ein besseres Verständnis des technischen Hintergrunds des erfindungsgemäßen Verfahrens zu bekommen, sei in der folgenden Beschreibung nochmals kurz auf die physikalischen Grundlagen eines Corioliskreisels anhand des Bei-  
15 spiels eines linearen Doppelschwingersystems eingegangen.

Die Corioliskraft lässt sich darstellen als:

$$\vec{F} = 2m\vec{v}_s x \vec{\Omega} \quad (1)$$

- 20  $\vec{F}$  Corioliskraft  
 $m$  Masse des Schwingers  
 $\vec{v}_s$  Geschwindigkeit des Schwingers  
 $\vec{\Omega}$  Drehrate

- 25 Ist die auf die Corioliskraft reagierende Masse gleich der schwingenden Masse und wird der Schwinger mit der Eigenfrequenz  $\omega$  betrieben, so gilt:

$$2m\vec{v}_s x \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad (2)$$

- 30 Für die Schwingergeschwindigkeit gilt:

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

mit

$\vec{v}_{s0}$  Schwingeramplitude

- 35  $\omega$  Eigenfrequenz des Schwingers

Somit gilt für die Schwinger- und Coriolisbeschleunigungen:

$$\begin{aligned}\vec{a}_s &= \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t \\ \vec{a}_c &= 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega}\end{aligned}\tag{4}$$

Damit stehen die beiden Beschleunigungsvektoren räumlich senkrecht aufeinander und sind in der Zeitfunktion um 90° gegeneinander versetzt (räumliche und zeitliche Orthogonalität).

Diese beiden Kriterien können benutzt werden, um die Schwingerbeschleunigung  $\vec{a}_s$  von der Coriolisbeschleunigung  $\vec{a}_c$  zu trennen. Das Verhältnis der o. g. Beschleunigungsamplituden  $a_c$  und  $a_s$  beträgt:

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\Omega}{\omega}\tag{5}$$

Für eine Drehrate  $\Omega = 5^\circ/\text{h}$  und eine Eigenfrequenz des Schwingers  $f_s = 10 \text{ KHz}$  ergibt sich:

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10}\tag{6}$$

Für eine Genauigkeit von  $5^\circ/\text{h}$  dürfen unerwünschte Kopplungen des ersten Schwingers auf den zweiten Schwinger höchstens  $7,7 \cdot 10^{-10}$  betragen oder auf diesem Wert konstant sein. Verwendet man ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern, die über Federelemente miteinander gekoppelt sind, so ist die Genauigkeit der räumlichen Orthogonalität aufgrund der Fehlausrichtung der Federelemente zwischen Schwing- und Messmode begrenzt. Die erreichbare Genauigkeit (durch Fertigungstoleranzen begrenzt) beträgt  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$ . Die Genauigkeit der zeitlichen Orthogonalität wird durch die Phasengenauigkeit der Elektronik bei z. Bsp. 10 KHz begrenzt, die ebenfalls nur auf höchstens  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  einzuhalten ist. Daraus folgt, dass das oben definierte Verhältnis der Beschleunigungen nicht eingehalten werden kann.

Realistisch ergibt sich ein Fehler des gemessenen Beschleunigungsverhältnisses  $a_c/a_s$  von

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-8}\tag{7}$$

Der räumliche Fehler resultiert in einem sogenannten Quadraturbias  $B_q$ , der mit dem zeitlichen Phasenfehler  $\Delta_\varphi$  einen Bias B ergibt:

$$B_0 = 6,5 \cdot 10^6 \text{ }^\circ/\text{h bis } 6,5 \cdot 10^5 \text{ }^\circ/\text{h}$$

$$\Delta_\varphi = 10^{-3} \text{ bis } 10^{-4}$$

(8)

$$B = B_0 \cdot \Delta_\varphi = 6.500 \text{ }^\circ/\text{h bis } 65 \text{ }^\circ/\text{h}$$

Somit bewirkt der Quadraturbias eine starke Einschränkung der Messgenauigkeit. Dabei ist anzumerken, dass o. g. Fehlerbetrachtung nur die direkte Kopplung vom Schwing- in den Auslesemode berücksichtigt. Es existieren noch weitere Quadraturbiasanteile, die beispielsweise durch Kopplungen mit anderen Schwingungsmoden entstehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation lässt sich insbesondere auf Corioliskreisel anwenden, deren Resonatoren als gekoppelte Systeme aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet sind, und weist die folgenden Schritte auf:

- Ermitteln des Quadraturbias des Schwingersystems, und
- Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

Hierbei wird vorzugsweise der gesamte Quadraturbias des Schwingersystems ermittelt. Dies erfolgt vorzugsweise durch Demodulation eines durch Ausleseelektroden erzeugten Auslesesignals mit  $0^\circ$  und entsprechender Rückstellung. Alternativ ist es möglich, gezielt nur den Teil des Quadraturbias zu ermitteln, der durch die Fehlausrichtung der beiden linearen Schwinger zueinander bewirkt wird. Der Begriff "Quadraturbias" beinhaltet beide Alternativen.

Der Quadraturbias wird also am Entstehungsort selbst eliminiert, d. h. mechanische Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander werden durch eine elektrostatische Kraft, die auf einen oder beide Schwinger wirkt und durch das elektrostatische Feld erzeugt wird, kompensiert.

Der Corioliskreisel weist erste und zweite Federelemente auf, wobei der erste Schwinger durch die ersten Federelemente mit einem Kreisrahmen des Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Schwinger durch die zweiten Federelemente mit dem ersten Schwinger verbunden ist. Das elektrostatische Feld bewirkt hierbei eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente. Vorzugsweise wird die Ausrichtung der zweiten Federelemente geändert, indem die Positi-

on/Ausrichtung des zweiten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Analog hierzu wird die Ausrichtung der ersten Federelemente vorzugsweise dadurch geändert, dass die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Die Änderung der Positionen/Ausrichtungen der Schwinger bewirken hierbei eine Verbiegung der Federelemente, die an den Schwingern befestigt sind, womit entsprechende Ausrichtungswinkel der ersten zu zweiten Federelementen korrigiert werden können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden durch das elektrische Feld die Ausrichtungswinkel der ersten und zweiten Federelemente so geändert, dass eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente zueinander bewirkt wird. Ist eine derartige Orthogonalisierung erreicht, so ist der dadurch erzeugte Quadraturbias(anteil) kompensiert. Bei weiteren Beiträgen zum Quadraturbias wird der Fehlwinkel zur Orthogonalität so eingestellt, dass der gesamte Quadraturbias verschwindet. Vorzugsweise werden die Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert, und die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens des Corioliskreisels nicht geändert. Es ist jedoch auch möglich, durch das elektrostatische Feld lediglich die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente zu ändern, oder die Ausrichtungswinkel sowohl der ersten als auch der zweiten Federelemente zu ändern.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt ferner einen Corioliskreisels bereit, dessen Resonator als gekoppeltes System aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet ist, und der

- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds, durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander änderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung eines Quadraturbias, der durch Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander und weiteren Kopplungsmechanismen verursacht wird, und
- einen Regelkreis aufweist, wobei der Regelkreis die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so regelt, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

Der Corioliskreisels weist erste und zweite Federelemente auf, wobei die ersten Federelemente den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, und die zweite Federelemente den zweiten Schwinger mit dem ersten Schwinger verbinden. Die Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente verlaufen hierbei vorzugsweise senkrecht zueinander. Die Federelemente können hierbei eine beliebige Form aufweisen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den zweiten Schwinger am ersten Schwinger "einseitig" zu befestigen bzw. einzuspannen. "Einseitig eingespannt" kann hierbei sowohl wörtlich als auch in einem allgemeinen Sinn verstanden werden. Allgemein bedeutet "einseitig" befestigt bzw. eingespannt, dass die Krafteinleitung von dem ersten Schwinger auf den zweiten Schwinger im Wesentlichen von einer "Sei-